

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLANDDEUTSCHES  
PATENTAMT

## (12) Offenlegungsschrift

(10) DE 42 43 118 A 1

(21) Aktenzeichen: P 42 43 118.2  
 (22) Anmeldetag: 21. 12. 92  
 (43) Offenlegungstag: 23. 6. 94

(51) Int. Cl. 5:  
**G 05 D 16/16**  
 G 01 L 11/00  
 G 01 F 1/00  
 G 01 P 1/00  
 F 04 D 15/00

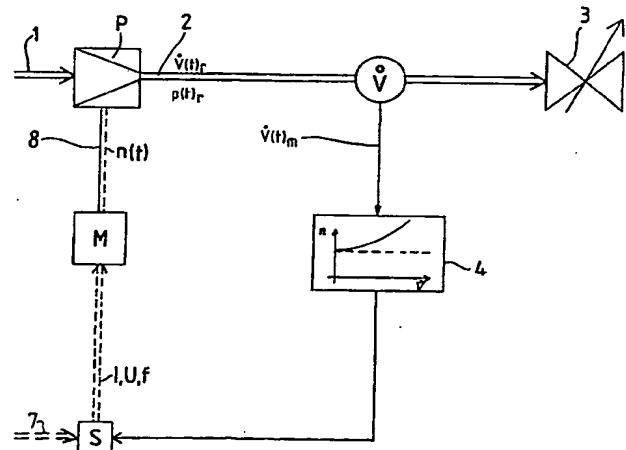
(71) Anmelder:  
 Continental Aktiengesellschaft, 30165 Hannover, DE

(72) Erfinder:  
 Beck, Franz Josef, Dipl.-Ing., 3057 Neustadt, DE;  
 Hennel, Ewald, 3000 Hannover, DE; Behse, Gerhard,  
 Dipl.-Ing., 3050 Wunstorf, DE

## (54) Verfahren zur Konstanthaltung des Druckes in einem hydraulischen System

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Konstanthaltung des Druckes in einem hydraulischen System, welches eine hydrodynamisch wirkende Pumpe zum Druckaufbau und ggf. zur Volumenförderung aufweist und aus dem über der Zeit schwankende Volumenströme an Verbrauchsstellen abgenommen werden, wobei hinter dem Pumpenausgang eine Zustandsgröße der zu den Verbrauchsstellen führenden Leitungen gemessen wird, und hieron ausgehend eine einen Regler und ein Stellglied, z. B. einen Leistungs-Thyristor, umfassender Signalpfad auf die Pumpendrehzahl ( $n$ ) rückwirkt.

Damit ein geringerer mittlerer Druck ausreicht, um angesichts unvermeidlicher Regelschwankungen den Mitteldruck zu garantieren, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß der aktuelle Volumenstrom gemessen und dieses Signal in einen Regler eingegeben wird, welcher zumindest annähernd entsprechend dem zur verwendeten Pumpe gehörigen Pumpenkennfeld die Funktion der Pumpendrehzahl beim Solldruck in Abhängigkeit vom Volumenstrom als Übertragungsfunktion gespeichert hat, so daß der Regler die zum aktuellen Volumenstrom passende Drehzahl der Pumpe errechnet.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 94 408 025/361

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Konstanthaltung des Druckes in einem hydraulischen System, welches neben unter Druck stehenden Schlauch- und/oder Rohrleitungen eine hydrodynamisch wirkende Pumpe zum Druckaufbau und ggf. zur Volumenförderung aufweist und aus dem über der Zeit schwankende Volumenströme an Verbrauchstellen abgenommen werden, wobei hinter dem Pumpenausgang eine Zustandsgröße der zu den Verbrauchsstellen führenden Leitungen gemessen wird, und hiervon ausgehend eine einen Regler und ein Stellglied, z. B. einen Leistungs-Thyristor, umfassender Signalpfad auf die Pumpendrehzahl ( $n$ ) rückwirkt. Dieses bekannte Verfahren und die zugehörige bekannte Regeltechnische Vorrichtung bezwecken eine möglichst konstante Regelung des Druckes über der Zeit unabhängig von den entnommenen Volumenströmen. Die Konstanz des Druckes wird insbesondere gestört durch die schwankenden Volumenströme.

Wie bei jedem geregelten System, so gibt es auch hier Regelabweichungen, also Differenzen zwischen einem Soll-Wert einer Größe — hier der Druck — und ihrem Ist-Wert. Der Bereich zwischen dem kleinsten Ist-Wert der geregelten Größe und dem größten Ist-Wert heiße Regelintervall. Egal welche Maschinen (auch Verbrauchsstellen genannt) ein hydraulisches Netz antreibt, der beabsichtigte Betrieb setzt einen bestimmten Mindestdruck im hydraulischen Netz voraus; das hydraulische Netz muß so geregelt werden, daß die Untergrenze des Regelintervalles, also der tatsächlich kleinste Wert, auf oder über dem Mindestdruck der Verbrauchsstellen liegt.

Desto größer das Regelintervall ist, desto mehr muß der über der Zeit gemittelte tatsächliche Druck über dem Mindestdruck liegen. Die Druckregelung erfolgt nach dem Stand der Technik in der Weise, daß — so genau wie möglich — der tatsächliche Druck gemessen und mit einem Solldruck, der umso mehr über dem Mindestdruck festgelegt muß, desto schlechter die Qualität der Messung und Regelung ist, verglichen wird, die so ermittelte Regelabweichung in einen Regler, üblicherweise einen PI- oder einen PID-Regler, gegeben wird und das so ermittelte Ausgangssignal des Reglers auf ein Stellglied, z. B. eine Thyristorschaltung oder einen Transformator geschaltet wird, welches auf die Pumpendrehzahl  $n$  einwirkt.

Hydrodynamisch wirkende Pumpen, insbesondere Kreiselpumpen, haben gegenüber Kolbenpumpen den Vorteil, keine hin- und hergehende Teile zu haben, sondern nur ein oder mehrere sich kontinuierlich drehende Schaufelkränze. Im Zusammenwirken damit, daß keine Kräfte zwischen der Peripherie eines Schaufelkranzes und der Innenwandung des Pumpengehäuses übertragen zu werden brauchen, die dortige Dichtung also befürchtungsfrei sein kann, erreichen solche Pumpen eine außerordentlich hohe Zuverlässigkeit bei großer Lebensdauer.

Nachteiligerweise verbrauchen hydrodynamisch wirkende Pumpen bereits zur Aufrechterhaltung eines Druckes, also nicht erst bei eintretendem Volumenstrom, Energie. Besonders in solchen Hydrauliknetzen, die nur über kurze Zeiträume wesentlichen Volumenstrom bereitstellen müssen und während langer Phasen keinen oder nur einen geringen Volumenstrom liefern müssen, dies aber bei ständiger Bereitschaft zum maximalen Volumenstrom und bei Aufrechterhaltung des

Druckes, ist der nur zur Druckaufrechterhaltung verbrauchte Energieanteil gegenüber dem Anteil, der während der Volumenstrom-Phasen verbraucht wird, beträchtlich.

- 5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Energieverbrauch von Hydrauliknetzen zu senken. Dazu wollen die Erfinder das Regelintervall verkleinern, so daß ein geringerer mittlerer Druck ausreicht, um den Mindestdruck zu garantieren. Zur Aufrechterhaltung eines geringeren Druckes reicht nämlich eine geringere Pumpenleistung aus.

In der Regel kriegt der Käufer einer Pumpe deren Kennfeld in der Darstellungstechnik gemäß Fig. 1a mitgeliefert; in den Fällen, wo dies nicht der Fall sein sollte, 15 muß der Kunde das Kennfeld durch Messungen selbst ermitteln, was dem Fachmann keinerlei Schwierigkeiten bereitet.

- Um das erste erfundungsgemäße Verfahren durchführen zu können, wird zunächst aus dem zur verwendeten 20 Pumpe gehörenden Pumpenkennfeld ( $p$ ,  $dV/dt$ ,  $n$ ) die Funktion der Pumpendrehzahl ( $n$ ) in Abhängigkeit vom Druck ( $p$ ) und dem Volumenstrom ( $dV/dt$ ) ermittelt. Vorzugsweise geschieht dies in Form einer stetig differenzierbaren Funktion von den beiden Variablen Druck und Volumenstrom. Es ist aber auch möglich, Tabellen einzugeben.

(Als Symbol für den Volumenstrom ist ein großes  $V$  mit darüber gestelltem Punkt gängig; leider kann dieses Schreibsystem das aber nicht schreiben. Deshalb wird 30 behelfsweise das Zeichen  $dV/dt$  oder auch  $Q$  als Synonym zum nicht darstellbaren  $V$ -Punkt benutzt, während in den Figuren das üblichere Symbol  $V$ -Punkt verwendet wird.)

- Anhand der Fig. 1 soll dieser erste Schritt erläutert 35 werden: Die verwendete Pumpe habe ein Kennfeld wie in Fig. 1a oder 1b angegeben. Beide Figuren unterscheiden sich nur in ihrer Darstellungstechnik voneinander.

Das hier beispielhaft angegebene Feld läßt sich sehr gut durch folgende Gleichung beschreiben:

$$40 p = 5 \text{ bar} / 9\,000\,000 \times (n/[U/\text{min}])^2 - 5 \text{ bar} / 10\,000 \times (Q/[m^3/h])^2$$

äquivalent zu:

$$p = 0,5555 \text{ bar} \times (n/1000)^2 - 0,0005 \text{ bar} \times Q^2, \text{ wobei } n \text{ die Pumpen-Drehzahl pro Minute ist, die dimensionslos einzusetzen ist und}$$

$Q$  der Volumenstrom in Kubikmetern pro Stunde ist, der ebenfalls dimensionslos einzusetzen ist.

- Diese Gleichung wird nun nach  $n$  aufgelöst (Hätte man es nur mit einer Datentabelle zu tun, was auch 50 möglich ist, so wäre die Tabelle nun nach  $n$  umzuordnen):

$$n = f(p, Q) = (1\,800\,000 p + 900 Q^2)^{0.5}$$

Dabei ist der Druck  $p$  in bar dimensionslos einzusetzen; bezüglich der Symbole  $Q$  und  $n$  siehe die Erläuterungen zur Gleichung zuvor.

- Es ist der Fall besonders wichtig, wo der Solldruck  $p_{\text{Soll}}$  fest vorgegeben werden kann, also nicht verstellbar zu sein braucht und wo die Druckschwankungen gering sind im Verhältnis zum zeitlichen Mittelwert des Druckes, weil eben dies das Ziel der Druckregelung ist. In diesem Fall kann statt der Variablen Druck  $p$  auch die Konstante Solldruck  $p_{\text{Soll}}$  eingesetzt werden. Dies sei an einem Beispiel erläutert:

Aufbauend auf den in Fig. 1 dargestellten Fall betrage 65 der Solldruck 3,0 bar. Als erforderliche Pumpendrehzahl  $n$  für einen Volumenstrom  $Q$  ergibt sich dann:

$$n = (5\,400\,000 + 900 Q^2)^{0.5}$$

Als Tabelle dargestellt lautet diese Funktion:

$Q [m^3/h]$	$n [U/min]$
0	2 323,8
2	2 324,6
4	2 326,9
6	2 330,8
8	2 336,2
10	2 343,1
12	2 351,5
14	2 361,4
16	2 372,8
18	2 385,7
20	2 400,0
22	2 415,7
24	2 432,8
26	2 451,2
28	2 471,0
30	2 492,0
32	2 514,3
34	2 537,8
36	2 562,5
38	2 588,4
40	2 615,3
42	2 643,4
44	2 672,5
46	2 702,7
48	2 733,8
50	2 765,9
52	2 798,9
54	2 832,7
56	2 867,5
58	2 903,0
60	2 939,4
62	2 976,5

In der dreidimensionalen Fig. 1b erscheint diese Funktion gestrichelt als Schnittlinie der 3,0-bar-Ebene mit der doppelparabolisch gewölbten Fläche; zur Verdeutlichung sind einige Punkte mit ihren Koordinaten markiert. Als Fig. 1c ist diese zweidimensionale Funktion selbst dargestellt.

Die gewonnene Funktion  $n(Q)p_{soll}$  bzw. nach  $n$  geordnete Tabelle wird zumindest annähernd als Übertragungsfunktion in einem Regler gespeichert. Dieser Regler sollte möglichst kein Zeitverhalten haben, das heißt, möglichst keine Verzögerung, kein I- und kein D-Verhalten. Man könnte ihn also als nicht-linearen P-Regler bezeichnen oder auch als Rechenglied in Echtzeit. Als Eingangssignal wird an diesen Regler das Ausgangssignal des Volumenstrommessers — und, sofern nicht unverstellbar festgelegt, der Solldruck — angeschlossen. Danach ist die Regelvorrichtung betriebsbereit für das automatisch ablaufende Verfahren nach Anspruch 1.

Allen Varianten erfundungsgemäßer Regelverfahren ist gemein, daß der Volumenstrom gemessen wird. In der Variante nach Anspruch 1 wird allein hieraus die erforderliche Drehzahl errechnet, um den Solldruck zu erhalten. Bei der Weiterbildung nach Anspruch 2, die die Verstellung des Solldruckes erlaubt, ist im Regler als Übertragungsfunktion  $n(Q, p)$  zu speichern und es ist als Druck  $p$  der Solldruck einzugeben.

In welcher Weise die erforderliche Drehzahl realisiert wird, insbesondere ob durch direkte Einwirkung auf ein Stellglied, z. B. Thyristor-Schaltung oder Trafo oder

Verstellung eines stufenlos schaltbaren Getriebes oder durch eine Unterregelschleife, ist unwesentlich, zumal dem Fachmann diesbezüglich zumindest die aufgezählten Varianten geläufig sind.

5 Wird beim Verfahren nach Anspruch 1 auf eine Druckmessung ganz verzichtet, genügt eine besonders einfache Vorrichtung. Der grundlegende Gedanke der Erfindung ist der, daß die Volumenstrommessung gegenüber der bislang für erforderlich gehaltenen Druckmessung den Vorteil hat, daß sie zumindest bei praktisch inkompressiblen Fluiden, also Flüssigkeiten, trägeheitsärmer gemessen werden kann, als der Druck:

Während insbesondere bei langen Leitungswegen zwischen einem plötzlich Volumenstrom aufnehmenden Verbraucher einerseits und dem üblicherweise in der Nähe der Pumpe angeordnetem Meßorgan andererseits erhebliche Zeit verstreicht, bis die vom Verbraucher ausgelöste Druckabfallswelle das Meßorgan — nach dem Stand der Technik wäre es ein Druckmesser — erreicht, stimmen der Volumenstrom am Verbraucher — bzw. die Summe der Volumenströme aller Verbraucher — mit dem an der Meßstelle aufgrund der Inkompressibilität des Mediums nahezu verzögerungsfrei überein.

25 Die Übereinstimmung wird zwar durch die Elastizität der Schlauch- und/oder Rohrwandungen gestört, denn elastische Rohrweitungen bzw. -schrumpfungen wirken wie Füllung bzw. Leerung verteilter Speicher, aber die meisten Hydrauliknetze sind schon aus Sicherheitsgründen den so stark bemessen, daß dieser Störeffekt hinreichend klein bleibt.

Die Lösung nach Anspruch 1 ist ein Grenzfall zwischen Regelung und Steuerung: Für die Bezeichnung als "Regelung" spricht, daß eine Zustandgröße des zu regelnden Hydrauliknetzes, nämlich der Volumenstrom, gemessen wird und nicht etwa eine externe Störgröße, z. B. die Ventilstellung an den Verbrauchern. Für eine Bezeichnung als "Steuerung" spricht, daß nicht die auf einen bestimmten Sollwert einzustellende Größe, nämlich der Druck, gemessen wird, sondern eine andere, nämlich der Volumenstrom. Weiterhin spricht gegen die Bezeichnung als "Regelung", daß der Istdruck nicht mit dem Solldruck verglichen wird, also keine Regelabweichung ermittelt wird.

45 Da der Kern der Erfindung in all ihren Varianten der ist, zumindest unter anderem eine Volumenstrommessung zur Einstellung eines Druckes (ggf. neben einer Druckmessung und/oder einer Temperaturmessung, um die über der Temperatur schwankende Dichte des Fluids erfassen zu können) heranzuziehen, kann die wie auch immer definierte Grenze zwischen "Steuerung" und "Regelung" keine Grenze des Schutzzumanges sein. Vielmehr liegt ein Teil der Leistung der Erfinder darin, sich über die für das anstehende Problem unzweckmäßigen Begriffsgrenzen hinweggesetzt zu haben.

Während die Aufgabe an die Erfinder lautete, ein verbessertes Druckregelverfahren anzugeben, ist der Wortbestandteil "Regelung" im Titel und in den ersten Zeilen der unabhängigen Ansprüche vermieden, um wenigstens dort eine Kollision mit der üblichen Begriffswelt zu umgehen; daß dies nicht vollständig gelingt (wie im Begriff "Regler") ist nicht den Erfindern anzulasten, sondern liegt daran, daß der nächstliegende Stand der Technik eindeutig ein Druckregelverfahren ist, der bei einem zweiteiligen Anspruch im Oberbegriff anzugeben ist.

In der Lösung nach Anspruch 3 wird neben dem Volumenstrom auch die Drehzahl gemessen; vorzugsweise

wird auch in diesem Fall von einer Messung des — zu "regelnden" — Druckes abgesehen. Diese Lösung erfüllt mehr Merkmale eines "Regelverfahrens" insofern, als der Ist-Druck bestimmt (allerdings nicht gemessen sondern aus den beiden genannten gemessenen Größen errechnet) und mit dem Solldruck über ein Differenzglied verglichen wird, also auch eine Regelabweichung ermittelt wird, welche — vorzugsweise unter Zwischen- schaltung eines an sich bekannten PI- oder PID-Reglers auf ein Stellglied oder eine Unterregelschleife zur Realisierung der passenden Drehzahl einwirkt. Ob das ausreicht, um diese Lösung als "Regelung" zu bezeichnen oder nicht, soll dahingestellt bleiben, nachdem ausführlich dargelegt ist, was gemeint ist. Die Neuerung liegt bei dieser Lösung in dem Teil, der den aktuellen Druck ermittelt. Ausgehend von dem in der Regel vorliegenden, ansonsten ausgehend von dem durch eine dem Fachmann geläufige Meßreihe zu ermittelnden Pumpenkennfeld wird vorzugsweise eine Gleichung ermittelt, die den Druck  $p$  als Funktion des Volumenstromes  $Q$  und der Pumpendrehzahl  $n$  darstellt; sofern eine ermittelte Wertetabelle hinreichend fein ist, kann aber auch die Ordnung einer solchen Tabelle nach dem Druck  $p$  ausreichen.

Für den Beispieldfall einer Pumpe mit Kennfeld gemäß der (inhaltsgleichen) Fig. 1a oder 1b ist bereits eine solche Gleichung auf Seite 4 ermittelt; sie lautet:

$$p = 0,5555 \text{ bar} \times (n/1000)^2 - 0,0005 \text{ bar} \times Q^2, \text{ wobei } n \text{ die Pumpen-Drehzahl pro Minute ist, die dimensionslos einzusetzen ist und}$$

$Q$  der Volumenstrom in Kubikmetern pro Stunde ist, der ebenfalls dimensionslos einzusetzen ist.

Diese Gleichung wird nun als Übertragungsfunktion im Regler gespeichert und die Ausgänge der Drehzahl- und Volumenstrommessung werden an die entsprechenden Eingänge dieses Reglers angeschlossen, wonach dieser am Ausgang einen errechneten Druck abgibt. Der so errechnete Druckwert ist insbesondere bei raschen Volumenstromänderungen genauer, ermöglicht eine präzisere Einstellung der zum gewünschten Druck passenden Pumpendrehzahl und ermöglicht — auch ohne Druckmessung — eine genauere Druckregelung. Abgesehen von der originellen Ermittlung des Druckes erfolgt die weitere Druckregelung wie an sich im Stand der Technik bekannt, also durch Vergleich des (errechneten) Ist-Druckes mit dem Solldruck in einem Differenzglied und Eingabe der so ermittelten Regelabweichung auf einen Regler, vorzugsweise mit PI- oder PID-Verhalten.

Eine Unterregelschleife um die Pumpe samt ihrem Antriebsmotor herum statt eines direkt wirkenden Stellgliedes ist möglich. An ihrem Anfang wird die Pumpendrehzahl ( $n(t)$ ) gemessen und danach mit der gemäß vorheriger Beschreibung als erforderlich ermittelten Drehzahl als Sollwert ( $n_{\text{Soll}}$ ) verglichen. Die so ermittelte Regelabweichung ( $dn(t)$ ) des Unterregelkreises wirkt in an sich bekannter Weise über einen weiteren Regler — vorzugsweise zumindest mit PI- evtl. auch mit PID-Verhalten — und ein Stellglied auf die Pumpendrehzahl  $n$  korrigierend ein.

Eine Unterregelschleife empfiehlt sich gegenüber einem direkt wirkenden Stellglied, wenn der Zusammenhang zwischen Stellung des Stellgliedes und tatsächlicher Pumpendrehzahl nicht oder nur zu ungenau angegeben werden kann, z. B. wegen Schwankungen in dem den Motor speisenden Stromnetz oder wegen Viskositätschwankungen des Druckmediums, oder wegen schwankenden Schlüpfes bei reibschlüssigen Getrieben.

Weil die Gefahr des Aufschaukelns durch das Zeitverhalten der Unterregelschleife in Verbindung mit einer Lösung nach Anspruch 1, die besonders kleine Trägheiten erlaubt, kleiner ist als in Verbindung mit einer Lösung nach Anspruch 3, empfiehlt sich diese Kombination dort, wo bei zu erwartenden zufälligen Antriebstörungen flinkes Regelverhalten gefordert wird. Ansonsten bereitet das direkt wirkende Stellglied weniger Aufwand und ermöglicht ein flinkerenes Ansprechen, also eine besonders weitgehende Absenkung des Solldrucks bis kurz vor den Mindestdruck.

Nachdem bislang alle Fachleute davon ausgegangen sind, daß eine zu regelnde Größe, hier der Druck, zunächst gemessen werden muß, um einen aktuellen Ist-Wert mit einem Sollwert vergleichen zu können, sind die radikalsten Ausführungen dieses erfinderischen Gedankens dadurch gekennzeichnet, daß der aktuelle Ist-Druck überhaupt nicht gemessen sondern aus anderen Größen errechnet wird. Diese Varianten sind Gegenstand des auf Anspruch 1 oder 3 rückbezogenen Anspruches 5.

Unbeschadet dessen ist aber auch Schutz für weniger radikale Ausführungsformen gerechtfertigt, in denen ein erfundengemäßer Pfad, in dem (zumindest unter anderem) der Volumenstrom gemessen wird, parallel geschaltet ist zu einem an sich bekannten Pfad, wo der aktuelle Druck durch einen Druckmesser bestimmt wird und wo beide Meßsignale nach ihrer Verarbeitung auf die Pumpendrehzahl ( $n(t)$ ) einwirken. Das Ausfallrisiko solcher Kombinationslösungen ist nicht nur durch die Redundanz beider Bestimmungsarten als solche reduziert, sondern ermöglicht synergistisch auch die gegenseitige Kontrolle beider nach unterschiedlichen Prinzipien funktionierenden Pfade. (Analog zu einigen Sicherheitssystemen in der Luftfahrt, z. B. dort verwendeten Kolbenmotoren, die nicht etwa über zwei gleichartige sondern zwei verschiedenartige Zündsysteme, nämlich ein magnetisches und ein elektrisches, parallel gezündet werden.) Auch scheint es möglich zu sein, daß spezifische Meßfehler der verschiedenen Wirkprinzipien zu weitgehender gegenseitiger Auslösung geführt werden.

Wird ein von einer Druckmessung ausgehender — an sich bekannter — Pfad mit einem solchen nach Anspruch 1 kombiniert, so wird zweckmäßigerweise in dem vom Druckmesser ausgehenden Pfad der aktuelle Druckmeßwert ( $p_m(t)$ ) mit dem Solldruck ( $p_{\text{sol}}$ ) über ein Differenzglied (D2) verglichen und die so ermittelte Regelabweichung ( $dp_m(t)$ ) in an sich bekannter Weise auf einen PI- oder PID-Regler gegeben, wonach das so ermittelte Signal — ggf. gewichtet über ein Proportionalitätsglied (K1) — über ein Summenglied (A) mit dem gegebenenfalls über ein Proportionalitätsglied (K2) gewichteten Ausgangssignal des Reglers (4) zu einem Mittelwert kombiniert wird und das so ermittelte Kombinationssignal direkt über ein auf die Pumpendrehzahl ( $n$ ) einwirkendes Stellglied (S) oder über ein in einem Unterregelkreis gemäß Anspruch 6 angeordnetes Stellglied (S) die geeignete Drehzahl realisiert.

Wird ein von einer Druckmessung ausgehender — an sich bekannter — Pfad hingegen mit einem solchen nach Anspruch 3 kombiniert, so wird zweckmäßigerweise der aktuelle Druckmeßwert ( $p_m(t)$ ) — ggf. über ein Proportionalitätsglied (K1) gewichtet — mit dem — ggf. über ein Proportionalitätsglied (K2) gewichteten —, im von der Volumenstrommessung ausgehenden Pfad im Regler (4) gemäß Anspruch 3 errechneten Druckwert ( $p(t)$ ) zu einem Mittelwert kombiniert, welcher sodann als

Druckwert in an sich bekannter Weise auf einen PI- oder PID-Regler gegeben wird, wonach das so ermittelte Signal direkt über ein auf die Pumpendrehzahl (n) einwirkendes Stellglied (S) oder über ein in einem Unterregelkreis gemäß Anspruch 6 angeordnetes Stellglied (S) die geeignete Drehzahl realisiert.

Bei beiden Kombinationsverfahren empfiehlt sich eine einstellbare Gewichtung der redundanten Signale durch Proportionalitätsglieder, die hier als K1 und K2 bezeichnet werden; auf diese Weise kann der optimale Kompromiß zwischen beiden Signalen je nach dem Typ der regeltechnischen Aufgabe eingestellt werden. Bei Betriebsweisen, wo innerhalb kürzester Zeit der Volumenstrom von 0 auf sein Maximum oder umgekehrt gehen kann, ist der neuartige, von der Volumenstrommessung ausgehende Pfad besonders stark zu gewichten, bei nur allmählichen Volumenstromänderungen führt bisweilen jedoch eine stärkere Gewichtung des an sich bekannten Druckmessung zu genaueren Ergebnissen. Vorzugsweise werden beide Proportionalitätsglieder so miteinander gekoppelt, daß immer die Summe der beiden Proportionalitätsfaktoren (K1 und K2) gleich 1 ist. Auf diese Weise bleibt das übrige regeltechnische Verhalten von der Einstellung der Gewichtung beider Signale weitgehend unabhängig.

Aus den Verfahrensansprüchen und den in dieser Beschreibung dazu gegebenen Erläuterungen ergeben sich unmittelbar Anweisungen zum Bau für die Verfahrensdurchführung geeigneter Vorrichtungen zur Konstanthaltung des Druckes (p) in einem hydraulischen System, welches neben unter Druck stehenden Schlauch- und/oder Rohrleitungen eine hydrodynamisch wirkende Pumpe und Verbrauchstellen verstellbaren Volumenstromes aufweist, wobei sich zwischen dem Pumpenausgang und der bzw. den Verbrauchsstellen(n) ein Sensor zur Messung einer Zustandsgröße der zu den Verbrauchsstellen führenden Leitungen befindet, und wobei an das Meßorgan ein Regler und hieran wiederum ein Stellglied (S), z. B. einen Leistungs-Thyristor, oder eine Unterregelschleife zur Einstellung der Pumpendrehzahl (n) angeschlossen ist. In den — den Erfindern einzig bekannten — Fällen, wo nur ein einziges Meßorgan eingesetzt ist, liegt die Neuerung darin, daß das Meßorgan kein Druck- sondern ein Volumenstrommesser ist. Es können aber auch mehrere Meßorgane eingesetzt werden, z. B. ein Temperaturfühler, ein oder mehrere Druckmesser; das Entscheidende der Erfindung ist, daß zumindest unter anderem ein Volumenstrommesser eingesetzt ist.

Die vom Volumenstrommesser ermittelten Daten können — im Gegensatz zu Daten eines Druckmessers — nicht direkt mit einem Solldruck verglichen werden; vielmehr bedarf es einer — vorzugsweise elektronischen — Datenverarbeitung. Dazu ist ein, vorzugsweise nur quasi-analog, also digital arbeitender, "Regler" (in den nachfolgenden Figuren mit Bezugszeichen 4 bezeichnet) vorgesehen, der eine nicht-lineare Übertragungsfunktion gespeichert hat entsprechend dem zur verwendeten Pumpe gehörenden Pumpenkennfeld.

Für eine Vorrichtung zur Verwirklichung eines Verfahrens nach Anspruch 1 oder 9, also für ein Verfahren ohne Drehzahlmessung, ist im Regler (4) zumindest annähernd entsprechend dem zur verwendeten Pumpe gehörenden Pumpenkennfeld (p, dV/dt, n) die Funktion der Pumpendrehzahl (n) in Abhängigkeit vom Volumenstrom (dV/dt) und entweder vom Druck (p) oder nur von einem Solldruck ( $p_{sol}$ ) als Übertragungsfunktion gespeichert. Als Eingangssignal ist der gemessene Volumenstrom (dV(t)/dt) und die Pumpendrehzahl (n) an den Regler (4) angeschlossen.

menstrom ( $dV(t)/dt$ ) und ggf. als Druck der Solldruck ( $p_{sol}$ ) an den Regler (4) angeschlossen.

Für eine Vorrichtung zur Verwirklichung eines Verfahrens nach Anspruch 3 oder 10, also für ein Verfahren mit einer Drehzahlmeßeinrichtung, ist im Regler (4) zumindest etwa entsprechend dem zur verwendeten Pumpe gehörenden Kennfeld (p, dV/dt, n) die Funktion des Druckes (p) in Abhängigkeit von der Pumpendrehzahl (n) und dem Volumenstrom (dV/dt) als Übertragungsfunktion gespeichert. Als Eingangssignal ist der gemessene Volumenstrom ( $dV(t)/dt$ ) und die Pumpendrehzahl (n) an den Regler (4) angeschlossen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand mehrerer Figuren näher erläutert. Es zeigt

- 15 Fig. 1a das Kennfeld einer Kreiselpumpe,
- Fig. 1b in räumlicher Darstellung das Kennfeld der gleichen Pumpe mit Schnittlinie der gekrümmten Kennfeldfläche zu einer Druckebene,
- Fig. 1c in vergrößerter ebener Darstellung die zuvor genannte Schnittlinie,
- 20 Fig. 2 eine besonders einfache Vorrichtung zur Konstanthaltung des Druckes (Verfahren nach Ansprüchen 1 und 5 verwirklichend),
- Fig. 3 eine Vorrichtung wie Fig. 2 jedoch mit Drehzahlmessung und Unterregelschleife für die Motordrehzahl n statt direkt wirkendem Stellglied (Verfahren nach Ansprüchen 1, 5 und 6 verwirklichend),
- 25 Fig. 4 eine andere Vorrichtung zur Druck-Konstanthaltung mit einem von einer Volumenstrommessung und einem von einer Druckmessung ausgehenden Pfad (Verfahren nach Ansprüchen 1, 8, 9 und 11 verwirklichend),
- 30 Fig. 5 eine andere Vorrichtung zur Konstanthaltung des Druckes mit nur einem, von einer Volumenstrommessung ausgehenden Pfad, in dem unter Mitberücksichtigung der gemessenen Pumpendrehzahl der aktuelle Druck errechnet und in an sich bekannter Weise weiterverarbeitet wird (Verfahren nach Ansprüchen 3, 4 und 5 verwirklichend) und
- 35 Fig. 6 eine Vorrichtung ähnlich Fig. 5, jedoch mit einem zweiten, von einer Druckmessung ausgehendem Pfad.

40 Fig. 1a zeigt das Kennfeld einer Kreiselpumpe in der dem Fachmann geläufigsten Darstellungsweise, nämlich als Kurvenschar p über Q mit der Drehzahl n als Parameter. Entsprechend dem häufigsten Fall, in dem ein Drehstromasynchronmotor direkt, das heißt ohne einen Drehzahländernden Getriebe eine Pumpe antreibt, ist als höchste Pumpendrehzahl (Leerlauf) 3000 Umdrehungen pro Minute eingetragen. Zum Koordinaten-Ursprung hingehend schließen sich daran die weiteren Graphen für kleinere Drehzahlen an; sie sind in Sprüngen von je 150 U/min eingetragen. Die Kurven entsprechen weitgehend nach unten weisenden Parabeln; von dieser Beobachtung ausgehend gelangt man zur algebraischen Darstellung, wie bereits auf Seite 4 oben dargelegt.

Das gezeigte Diagramm bezieht sich auf Wasser als Fluid bei 15°C. Bei Flüssigkeiten höherer Dichte ergeben sich bei gleicher Drehzahl und Volumenstrom etwa proportional vergrößerte Drücke. Auch die Leistungsaufnahme der Pumpe zum Erreichen einer bestimmten Drehzahl ist im wesentlichen der Fluidehdichte proportional. In solchen Sonderfällen, wo stark schwankende Dichten auftreten, kann es deshalb sinnvoll sein, statt der Drehzahl n die vom Pumpenmotor aufzunehmende Leistung zu regeln; auf diese Weise kompensiert sich der Effekt schwankender Dichten. Entsprechend ist für

solche Sonderfälle überall das Wort Pumpendrehzahl durch Pumpenleistung zu ersetzen.

Fig. 1b zeigt in räumlicher Darstellung die Kennung der gleichen Pumpe; aus dem Feld ist durch die geänderte Darstellungsweise eine eindeutige Fläche geworden. Die in vorheriger Figur gezeigten Feldlinien erscheinen hier als in der räumlichen Tiefe hintereinander gestaffelte Linien auf einer doppelt-parabolisch gekrümmten Fläche.

In einem Beispiel ist ein Druck von 3,0 bar als Solldruck angenommen. Allein aus dem Volumenstrom  $dV/dt$  ist dann die erforderliche Pumpendrehzahl zu bestimmen als Schnittlinie der gekrümmten Kennfeldfläche mit der Ebene, die dem Solldruck entspricht, hier also mit der 3-bar-Ebene.

Fig. 1c zeigt in vergrößerter ebener Darstellung die zuvor genannte Schnittlinie als Diagramm  $n$  über  $dV/dt$ . Diese Funktion wird in einem Regler — vorzugsweise digital — gespeichert, um Verfahren nach Anspruch 1 ausführen zu können.

Fig. 2 zeigt eine besonders einfache Vorrichtung zur Konstanthaltung des Druckes. Sie erlaubt die Verwirklichung von Verfahren nach Ansprüchen 1 und 5.

In dieser wie in allen nachfolgenden Figuren sind Volumenstrom führende Leitungen mit einem Doppelpfeil dargestellt. Von der Ansaugseite 1 verdichtet bzw. befördert die Pumpe P die Flüssigkeit in die Druckleitung 2 der in ihr (2) herrschende Zustand ist im wesentlichen durch den Volumenstrom  $dV/dt$  und den Druck  $p$  gekennzeichnet. Diese Druckleitung 2 führt zu mindestens einem Verbraucher 3, an dem — z. B. durch ein verstellbares Drossel- und Schließventil — verstellbare Volumenströme entnommen werden. Der Pfeil durch das Drossel-Symbol soll die Verstellbarkeit andeuten.

Ein großer Kreis soll ein Meßgerät symbolisieren, wobei in den Kreis die gemessene Größe eingetragen ist, in Fig. 2 der Volumenstrom V-Punkt.

Signalführende Leitungen, also Leitungen die im wesentlichen ohne Masse- und/oder Energiefluß Informationen weiterleiten, sind in allen Figuren in einfacher durchgehender Linie, solche hingegen, die im wesentlichen ohne Massefluß Energie leiten, sind in doppelgestrichelter Linie dargestellt, so hier die Leitung vom versorgenden Stromnetz 7 ins Stellglied S und die Leitung vom Stellglied S zum die Pumpe P antreibenden Motor M. Mindestens eine der Größen elektrische Stromstärke I oder Spannung U oder Frequenz f, sofern der Motor von Dreh- oder Wechselstrom gespeist wird, wird durch das Stellglied S in an sich bekannter Weise eingestellt. Die mechanische Verbindung 8 zwischen Motor und Pumpe — einfachstens eine durchgehende Welle, möglicherweise aber auch ein aufwendigeres Getriebe — ist in halbgestrichelter Doppellinie dargestellt.

Das Signal des Volumenstrommessers wird in einen Regler 4 geleitet, der — abhängig vom gewünschten, ggf. verstellbaren Solldruck — eine Übertragungsfunktion entsprechend Fig. 1c bzw. eine Schar von Übertragungsfunktionen gespeichert hat. Unter Verzicht auf jedes weitere regeltechnische Glied, insbesondere ein Differenzglied zur Ermittlung der Regelabweichung und einen weiteren Regler, liegt als Ausgangssignal des Reglers 4 sofort die Drehzahl vor, die erforderlich ist, um angesichts des gemessenen Volumenstromes den Solldruck zu erhalten. Also wird dieses Signal direkt in das Stellglied S geleitet. Fig. 3 zeigt eine Vorrichtung ähnlich der von Fig. 2 jedoch mit einer Drehzahlmessung und einer Unterregelschleife für die Motordrehzahl n

statt eines direkt wirkenden Stellgliedes. Diese Vorrichtung ermöglicht die Durchführung der Verfahren nach den Ansprüchen 1, 5 und 6. Das vom Drehzahlmesser kommende Signal wird zusammen mit dem Ausgangssignal des Reglers 4 in ein Differenzglied B geschickt. Die dort ermittelte Regelabweichung  $dn(t)$  wird in einen Regler N geleitet, welcher zumindest ein PI- vorzugsweise PID-Verhalten hat. Das vom Regler N ausgehende Signal wird in das Stellglied S geleitet. In an sich

bekannter Weise wird von hier aus durch Beeinflussung zumindest einer der Größen I oder U oder f die geeignete Motordrehzahl eingestellt.

Fig. 4 zeigt eine andere Vorrichtung zur Konstanthaltung eines Druckes. Es handelt sich dabei um eine Mischform zwischen einer Vorrichtung gemäß Fig. 2 und dem Stand der Technik.

Entsprechend dem Stand der Technik gibt es einen (rechten) von einer Druckmessung ausgehenden Pfad. In diesem wird das Druckmeßsignal  $p_m(t)$  zusammen mit dem Solldruck auf ein Differenzglied D2 geschaltet. Die dort ermittelte Regelabweichung  $dp_m$  wird in einen Regler 6 geleitet, der zumindest ein PI- vorzugsweise PID-Verhalten hat. Das Ausgangssignal des Reglers 6 ist  $y$  genannt. Es wird in ein Proportionalitätsglied mit dem Proportionalitätsfaktor  $K_1$  und sodann in ein Additionsglied A geleitet zusammen mit dem über ein Proportionalitätsglied des Faktors  $K_2$  eingelegten Ausgangssignal  $z$  des Reglers 4, welcher — wie in Fig. 2 beschrieben — eine erforderliche Drehzahl aus dem Ergebnis einer Volumenstrommessung errechnet, wozu im Regler 4 als Übertragungsfunktion  $n(dV/dt)p_{Soll}$  bzw.  $n(dV/dt, p_{Soll})$  gespeichert ist. Die Summe  $K_1 + K_2$  soll 1 betragen. Das aus  $y$  und  $z$  kombinierte Signal  $k$  wird in das Stellglied S geleitet. Diese Vorrichtung mit einem von einer Volumenstrommessung und einem von einer Druckmessung ausgehenden Pfad ermöglicht die Durchführung von Verfahren nach den Ansprüchen 1, 8, 9 und 11.

Die Beeinflussung der Pumpendrehzahl vom Stellglied S aus erfolgt in an sich bekannter und bereits zuvor beschriebener Weise. Statt der direkten Einleitung in ein Stellglied S wäre auch hier möglich, das Signal  $k$  als (sich geeignet einstellenden) Sollwert einer um den Motor und ggf. das Getriebe herum gelegten Unterregelschleife heranzuziehen, wie bereits ebenfalls zuvor beschrieben bei Fig. 3.

Fig. 5 zeigt eine andere Vorrichtung zur Konstanthaltung des Druckes mit nur einem, von einer Volumenstrommessung ausgehenden Pfad, in dem unter Berücksichtigung der gemessenen Pumpendrehzahl der aktuelle Druck errechnet und in an sich bekannter Weise weiterverarbeitet wird. Das zentrale Teil dieser Vorrichtung ist wiederum der Regler 4, in den bei dieser Ausführung als Übertragungsfunktion entsprechend dem Pumpenkennfeld die Funktion von zwei Variablen  $p(dV/dt, n)$  gespeichert ist. In diesen Regler oder Rechenglied 4 wird sowohl das Ergebnis der Drehzahlmessung als auch der Volumenstrommessung eingespeist, woraus er dann — ohne Druckmessung! — den in der Leitung 2 herrschenden Druck errechnet. Der so ermittelte Druck wird in an sich bekannter Weise weiter verarbeitet, also über ein Differenzglied D1 mit dem Solldruck verglichen und die so bestimmte Regelabweichung  $dp(t)$  wird über einen Regler 5, der zumindest PI-Verhalten, vorzugsweise wie hier gezeigt PID-Verhalten hat, in ein Stellglied S (wie hier gezeigt) oder eine Unterregelschleife eingelegt. Die gezeigte Vorrichtung eignet sich zur Durchführung von Verfahren nach

den Ansprüchen 3, 4 und 5.

Fig. 6 schließlich zeigt eine Vorrichtung ähnlich Fig. 5, jedoch mit einem zweiten, von einer Druckmessung ausgehendem Pfad. Das Ausgangssignal des Reglers 4, der errechnete Druck  $p$  wird über ein Proportionalitätsglied des Faktors  $K_2$  zusammen mit dem gemessenen Signal für den Druck  $p$  über ein Proportionalitätsglied des Faktors  $K_1$  auf ein Summenglied A geschaltet. Das von da ausgehende gemischte Ausgangssignal wird in einem Differenzglied D2 mit dem Solldruck verglichen und im übrigen weiter verarbeitet wie in Fig. 5 beschrieben.

Es versteht sich, daß bei den verschiedenen Varianten der Mischung auf verschiedene Weise gewonnener Daten zur selben physikalischen Größe die jeweiligen Signale so geeicht sind, daß der gleichen Größe auch die gleiche Signalgröße entspricht. Sollte dies in Einzelfällen nur aufwendig zu erreichen sein, so wird das gleiche Ergebnis dadurch erreicht, daß das dem kleineren Signal nachgeschaltete Proportionalitätsglied einen entsprechend größeren Faktor hat als das dem größeren Signal nachgeschaltete. Zwar kann dann nicht mehr  $K_1 + K_2 = 1$  eingehalten werden, sinngemäß sollte aber eine Gewichtungsminderung eines Signales eine komplementäre Gewichtungsvergrößerung des anderen Signales bewirken.

Erfindungsgemäße Verfahren und Vorrichtungen ermöglichen ein besonders rasches Ansprechen auch auf abrupte Volumenstromänderungen und ermöglichen auf diese Weise eine besonders genaue Einhaltung des Solldruckes. Deshalb braucht der Solldruck kaum noch über dem Mindestdruck der Verbraucher zu liegen, es ist also eine Absenkung des zeitlichen Mitteldruckes mit entsprechender Leistungseinsparung an der Pumpe möglich. In einer Ausführung werden diese Vorteile mit sogar gegenüber dem Stand der Technik verringertem Aufwand erreicht.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Konstanthaltung des Druckes (p) in einem hydraulischen System, welches neben unter Druck stehenden Schlauch- und/oder Rohrleitungen eine hydrodynamisch wirkende Pumpe (P) aufweist und aus dem über der Zeit (t) schwankende Volumenströme ( $dV/dt$ ) an Verbrauchstellen (3) abgenommen werden, wobei hinter dem Pumpenausgang (2) eine Zustandsgröße der zu den Verbrauchsstellen (3) führenden Leitungen gemessen wird, und hiervon ausgehend ein zumindest einen Regler (4) und ein Stellglied (S), z. B. einen Leistungs-Thyristor, oder eine Unterregelschleife umfassender Signalpfad auf die Pumpendrehzahl (n) rückwirkt, dadurch gekennzeichnet, daß
  - der aktuelle Volumenstrom ( $dV(t)/dt$ ) gemessen und
  - dieses Signal ( $dV(t)/dt$ ) in einen Regler (4) eingegeben wird, welcher zumindest annähernd entsprechend dem zur verwendeten Pumpe (P) gehörenden Pumpenkennfeld ( $p$ ,  $dV/dt$ ,  $n$ ) die Funktion der Pumpendrehzahl (n) beim Solldruck ( $p_{sol}$ ) in Abhängigkeit vom Volumenstrom ( $dV/dt$ ) als Übertragungsfunktion gespeichert hat, so daß
    - der Regler (4) die zum aktuellen Volumenstrom ( $dV/dt$ ) passende Drehzahl ( $n(t)$ ) der Pumpe (P) errechnet, die ( $n(t)$ ) dann mittels eines auf die Pumpe einwirkenden Stellgliedes

(S) oder Unterregelkreises realisiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Regler (4) als Übertragungsfunktion — zumindest annähernd entsprechend dem Pumpenkennfeld — die Funktion  $n = f(dV/dt, p)$  gespeichert hat und, daß in den Regler (4) als Druck ( $p$ ) der Solldruck ( $p_{sol}$ ) eingegeben wird, so daß der Solldruck ( $p_{sol}$ ) verstellbar ist.

3. Verfahren zur Konstanthaltung des Druckes (p) in einem hydraulischen System, welches neben unter Druck stehenden Schlauch- und/oder Rohrleitungen eine hydrodynamisch wirkende Pumpe (P) aufweist und aus dem über der Zeit (t) schwankende Volumenströme ( $dV/dt$ ) an Verbrauchstellen (3) abgenommen werden, wobei hinter dem Pumpenausgang (2) eine Zustandsgröße der zu den Verbrauchsstellen (3) führenden Leitungen gemessen wird, und hiervon ausgehend ein einen Regler (4) und ein Stellglied (S), z. B. einen Leistungs-Thyristor, oder eine Unterregelschleife umfassender Signalpfad auf die Pumpendrehzahl ( $n(t)$ ) rückwirkt, dadurch gekennzeichnet, daß

- der aktuelle Volumenstrom ( $dV(t)/dt$ ) und die aktuelle Drehzahl ( $n(t)$ ) gemessen und
- beide Signale ( $dV(t)/dt, n(t)$ ) in einen Regler (4) eingegeben werden, welcher zumindest annähernd entsprechend dem zur verwendeten Pumpe (P) gehörenden Pumpenkennfeld ( $p$ ,  $dV/dt$ ,  $n$ ) die Funktion des Druckes (p) in Abhängigkeit von der Pumpendrehzahl (n) und dem Volumenstrom ( $dV/dt$ ) als Übertragungsfunktion gespeichert hat, so daß
- der Regler (4) sodann den momentan herrschenden Druck ( $p(t)$ ) in der zur Verbrauchsstelle (3) führenden Leitung (2) errechnet,
- wonach der so errechnete momentane Druck ( $p(t)$ ) in an sich bekannter Weise in einem Differenzglied (D) mit dem Solldruck ( $p_{sol}$ ) verglichen wird, und
- danach die so ermittelte Regelabweichung ( $dp(t)$ ) in an sich bekannter Weise über einen weiteren Regler (5) und ein Stellglied (S) oder einen Unterregelkreis auf die Pumpendrehzahl (n) korrigierend einwirkt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Regler (5) ein PI- oder PID-Regler ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß nicht der Druck (p) gemessen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß um die Pumpe (P) samt ihrem Antriebsmotor (M) eine Unterregelschleife herumgelegt ist, an deren Beginn die aktuelle Pumpendrehzahl ( $n(t)$ ) gemessen wird und danach mit der als erforderlich ermittelten Drehzahl als Sollwert ( $n_{sol}$ ) verglichen wird und die so ermittelte Regelabweichung ( $dn(t)$ ) des Unterregelkreises in an sich bekannter Weise über einen weiteren Regler (N) und ein Stellglied (S) auf die Pumpendrehzahl (n) korrigierend einwirkt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Regler (N) ein PI- oder PID-Regler ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß neben dem neuartigen, von der Volumenstrom-Messung ausgehenden Pfad als weiterer Pfad ein an sich bekannter, von einer

Druckmessung ausgehender Pfad angeordnet ist und beide Meßsignale nach Verarbeitung der Daten auf die Pumpendrehzahl ( $n(t)$ ) einwirken.

9. Verfahren nach Anspruch 1 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß in dem an sich bekannten, von einer Druckmessung ausgehenden Pfad der aktuelle Druckmeßwert ( $p_m(t)$ ) mit dem Solldruck ( $p_{sol}$ ) über ein Differenzglied (D2) verglichen wird und die so ermittelte Regelabweichung ( $dpm(t)$ ) in an sich bekannter Weise auf einen PI- oder PID-Regler gegeben wird, wonach das so ermittelte Signal — ggf. gewichtet über ein Proportionalitätsglied (K1) — über ein Summenglied (A) mit dem gegebenenfalls über ein Proportionalitätsglied (K2) gewichteten Ausgangssignal des Reglers (4) zu einem Mittelwert kombiniert wird und das so ermittelte Kombinationssignal direkt über ein auf die Pumpendrehzahl ( $n$ ) einwirkendes Stellglied (S) oder über ein in einem Unterregelkreis gemäß Anspruch 6 angeordnetes Stellglied (S) die geeignete Drehzahl ( $n$ ) realisiert.

10. Verfahren nach Anspruch 3 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß in dem an sich bekannten, von einer Druckmessung ausgehenden Pfad der aktuelle Druckmeßwert ( $p_m(t)$ ) — ggf. über ein Proportionalitätsglied (K1) gewichtet — mit dem — ggf. über ein Proportionalitätsglied (K2) gewichteten —, im Regler (4) gemäß Anspruch 3 errechneten Druckwert ( $p(t)$ ) zu einem Mittelwert kombiniert wird, welcher sodann als Druckwert in an sich bekannter Weise auf einen PI- oder PID-Regler gegeben wird, wonach das so ermittelte Signal direkt über ein auf die Pumpendrehzahl ( $n$ ) einwirkendes Stellglied (S) oder über ein in einem Unterregelkreis gemäß Anspruch 6 angeordnetes Stellglied (S) die geeignete Drehzahl ( $n$ ) realisiert.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, in dem beide redundanten Signale —  $n(t)$  bei Rückbezug auf Anspruch 9,  $p(t)$  bei Rückbezug auf Anspruch 10 — durch Proportionalitätsglieder (K1, K2) gewichtet werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der beiden Proportionalitätsfaktoren der Proportionalitätsglieder (K1 und K2) gleich 1 ist.

12. Vorrichtung zur Konstanthaltung des Druckes ( $p$ ) in einem hydraulischen System, welches neben unter Druck stehenden Schlauch- und/oder Rohrleitungen eine hydrodynamisch wirkende Pumpe (P) und Verbrauchstellen (3) verstellbarer Durchflußgeschwindigkeit aufweist, wobei sich zwischen dem Pumpenausgang (2) und der bzw. den Verbrauchsstelle(n) ein Sensor zur Messung einer Zustandsgröße der zu den Verbrauchsstellen (3) führenden Leitungen befindet, und wobei an das Meßorgan ein Regler und hieran wiederum ein Stellglied (S), z. B. einen Leistungs-Thyristor, oder eine Unterregelschleife zur Einstellung der Pumpendrehzahl ( $n$ ) angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßorgan ein Volumenstrommesser ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß statt eines Meßorgans verschiedene Meßorgane eingesetzt sind, davon ein Volumenstrommesser.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13 zur Verwirklichung eines Verfahrens nach Anspruch 1 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest annähernd entsprechend dem zur verwendeten Pumpe (P) gehörenden Pumpenkennfeld ( $p$ ,  $dV/dt$ ,  $n$ )

die Funktion der Pumpendrehzahl ( $n$ ) in Abhängigkeit vom Volumenstrom ( $dV/dt$ ) und vom Druck ( $p$ ) oder nur einem Solldruck ( $p_{sol}$ ) in einem Regler (4) als Übertragungsfunktion gespeichert ist, und als Eingangssignal der gemessene Volumenstrom ( $dV(t)/dt$ ) und ggf. als Druck der Solldruck ( $p_{sol}$ ) an den Regler (4) angeschlossen ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13 mit einer Drehzahlmeßeinrichtung zur Verwirklichung eines Verfahrens nach Anspruch 3 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest annähernd entsprechend dem zur verwendeten Pumpe (P) gehörenden Pumpenkennfeld ( $p$ ,  $dV/dt$ ,  $n$ ) die Funktion des Druckes ( $p$ ) in Abhängigkeit von der Pumpendrehzahl ( $n$ ) und dem Volumenstrom ( $dV/dt$ ) in einem Regler (4) als Übertragungsfunktion gespeichert ist, und als Eingangssignal der gemessene Volumenstrom ( $dV(t)/dt$ ) und die Pumpendrehzahl ( $n$ ) an den Regler (4) angeschlossen ist.

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

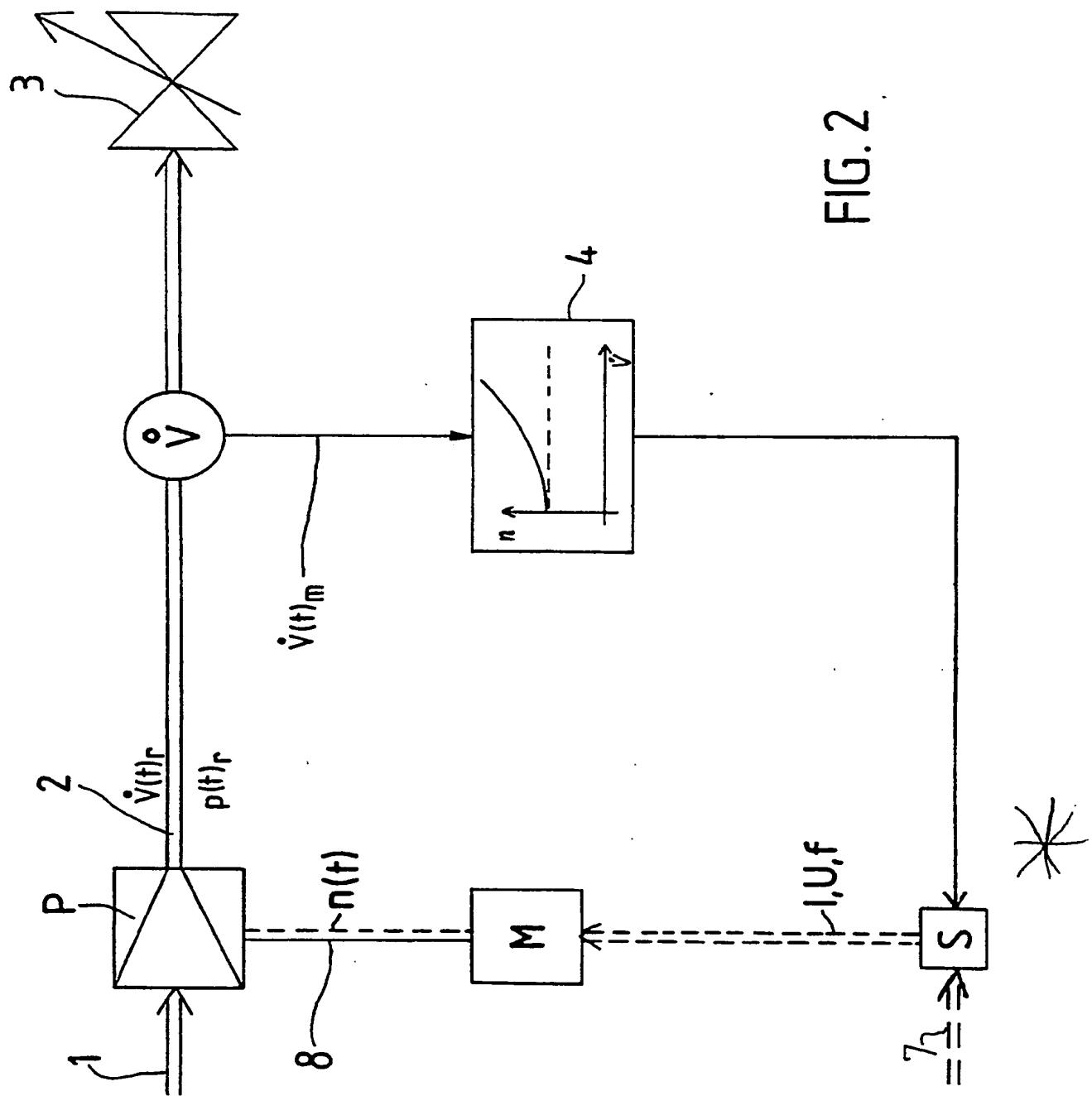


FIG. 2

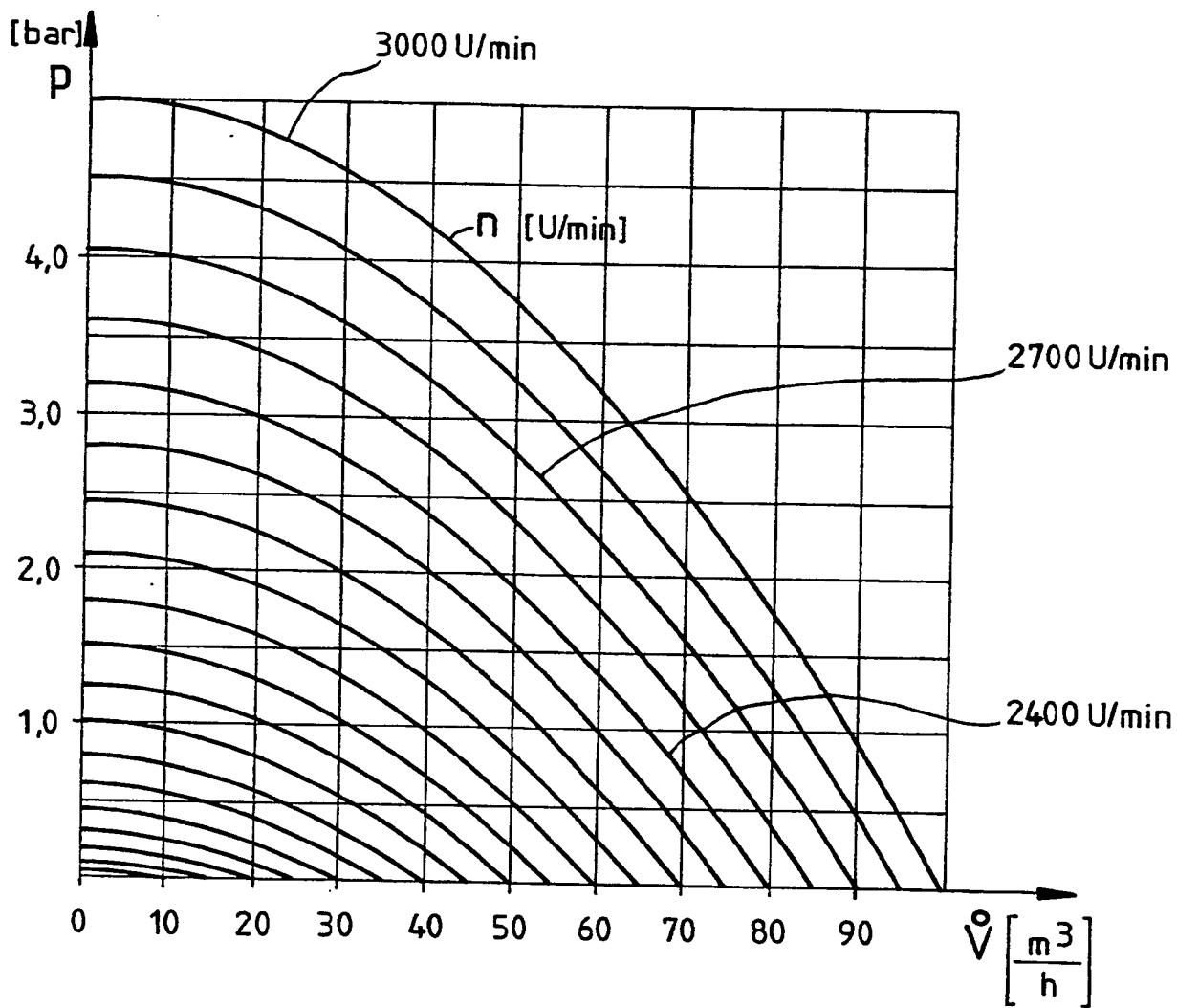


FIG. 1a

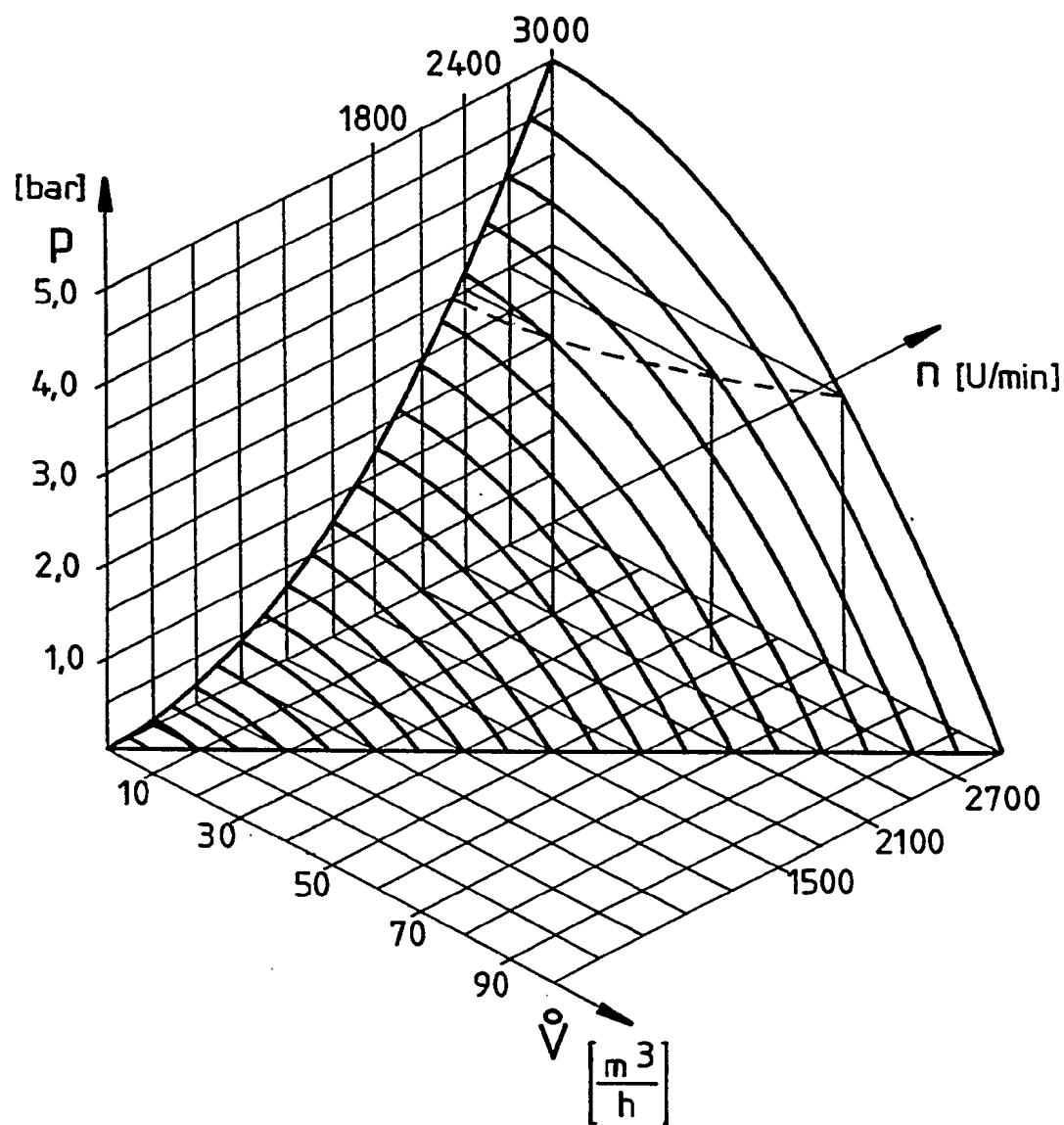


FIG. 1b

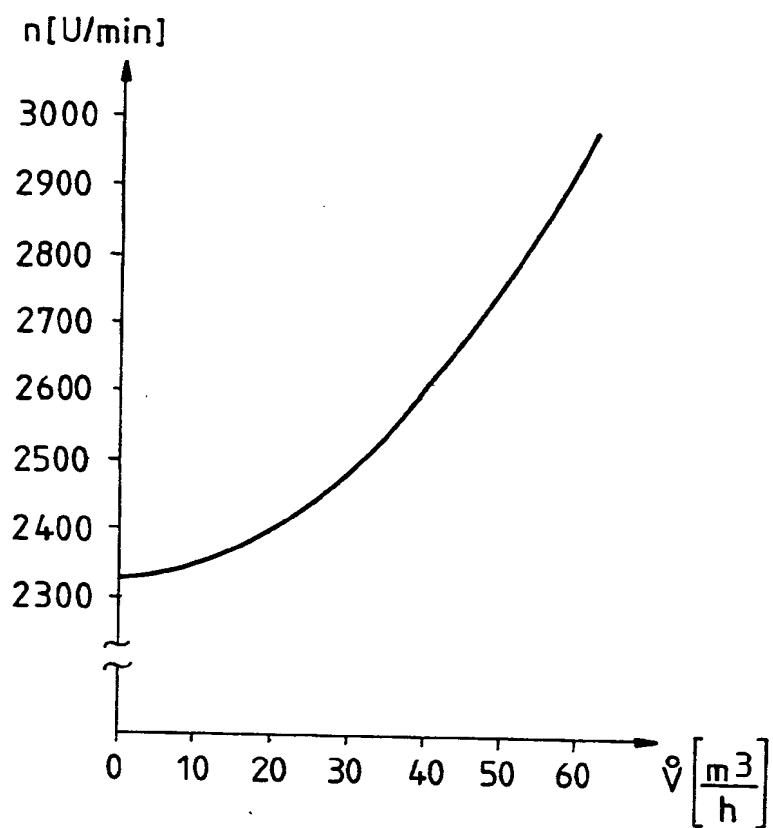
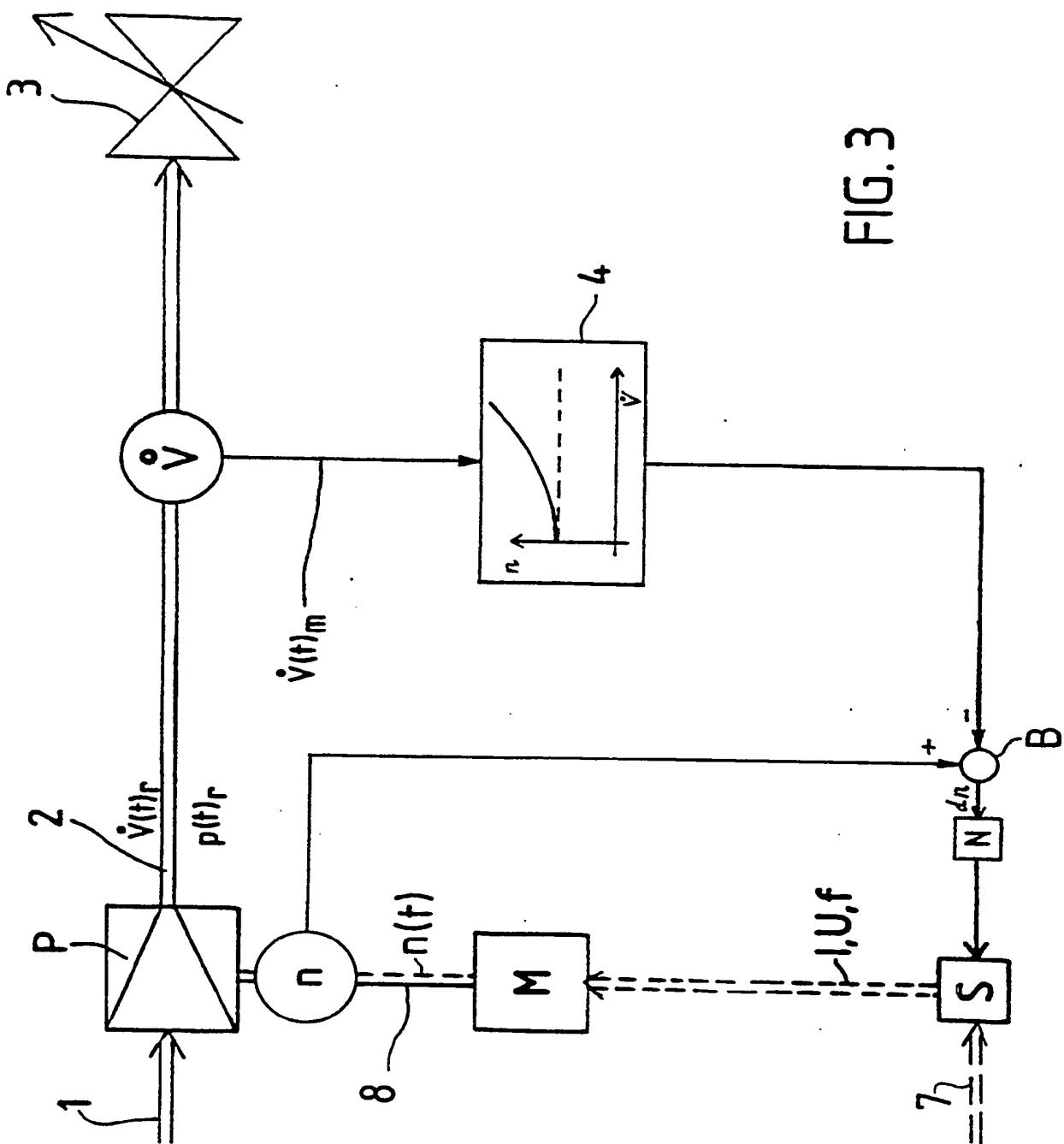
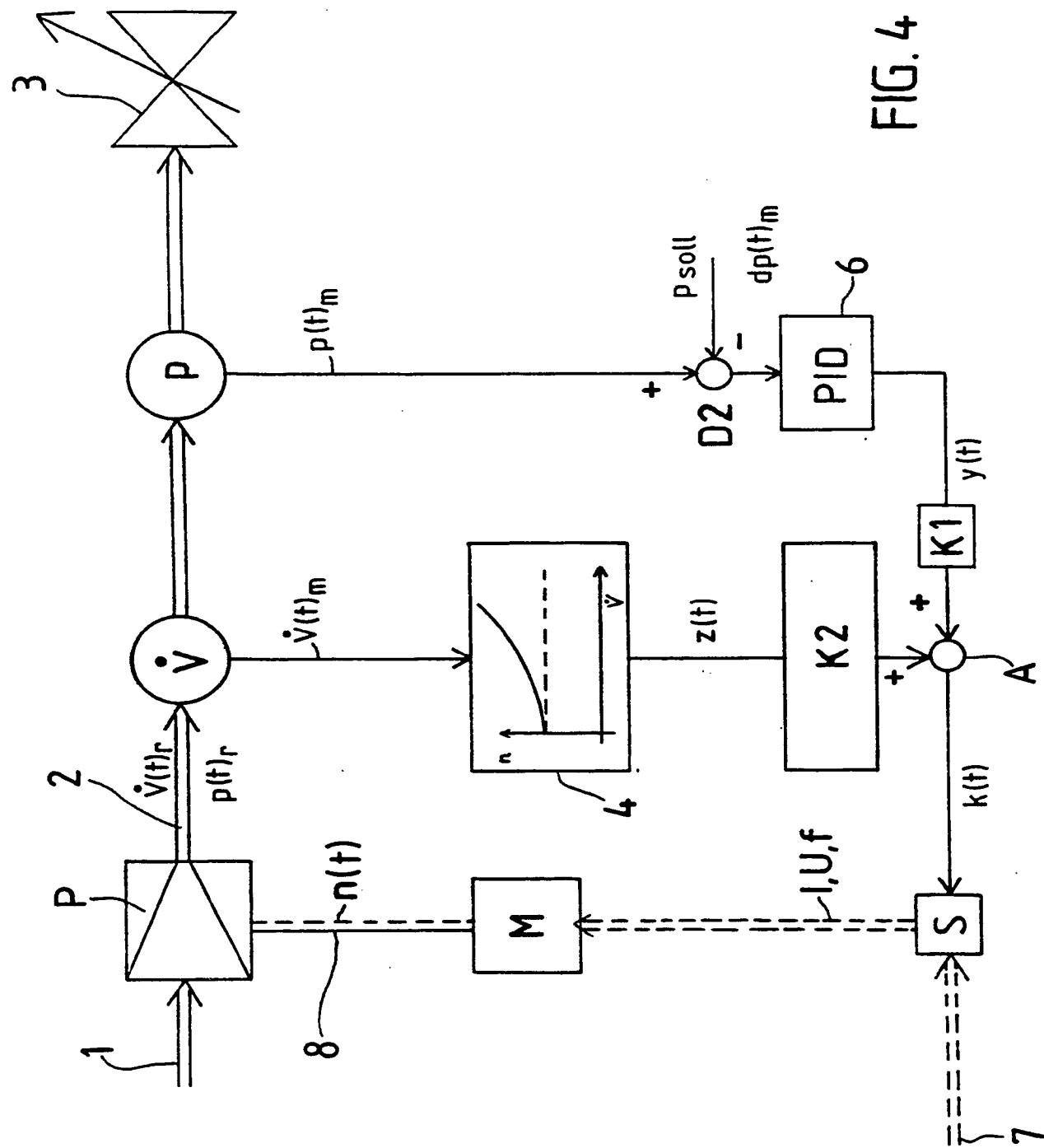
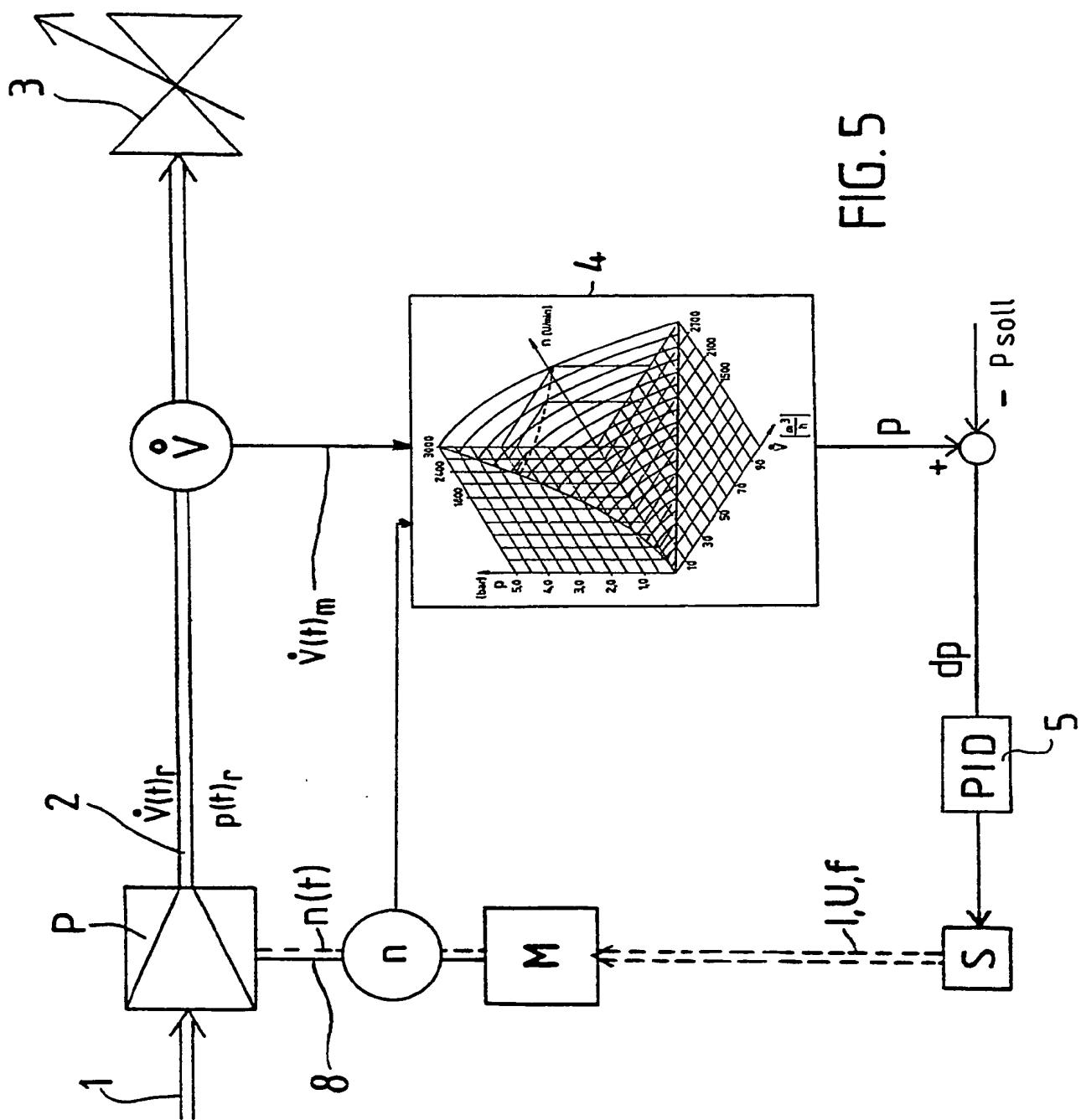


FIG. 1c

FIG. 3







BEST AVAILABLE COPY

ZEICHNUNGEN SEITE 8

**Nummer:**

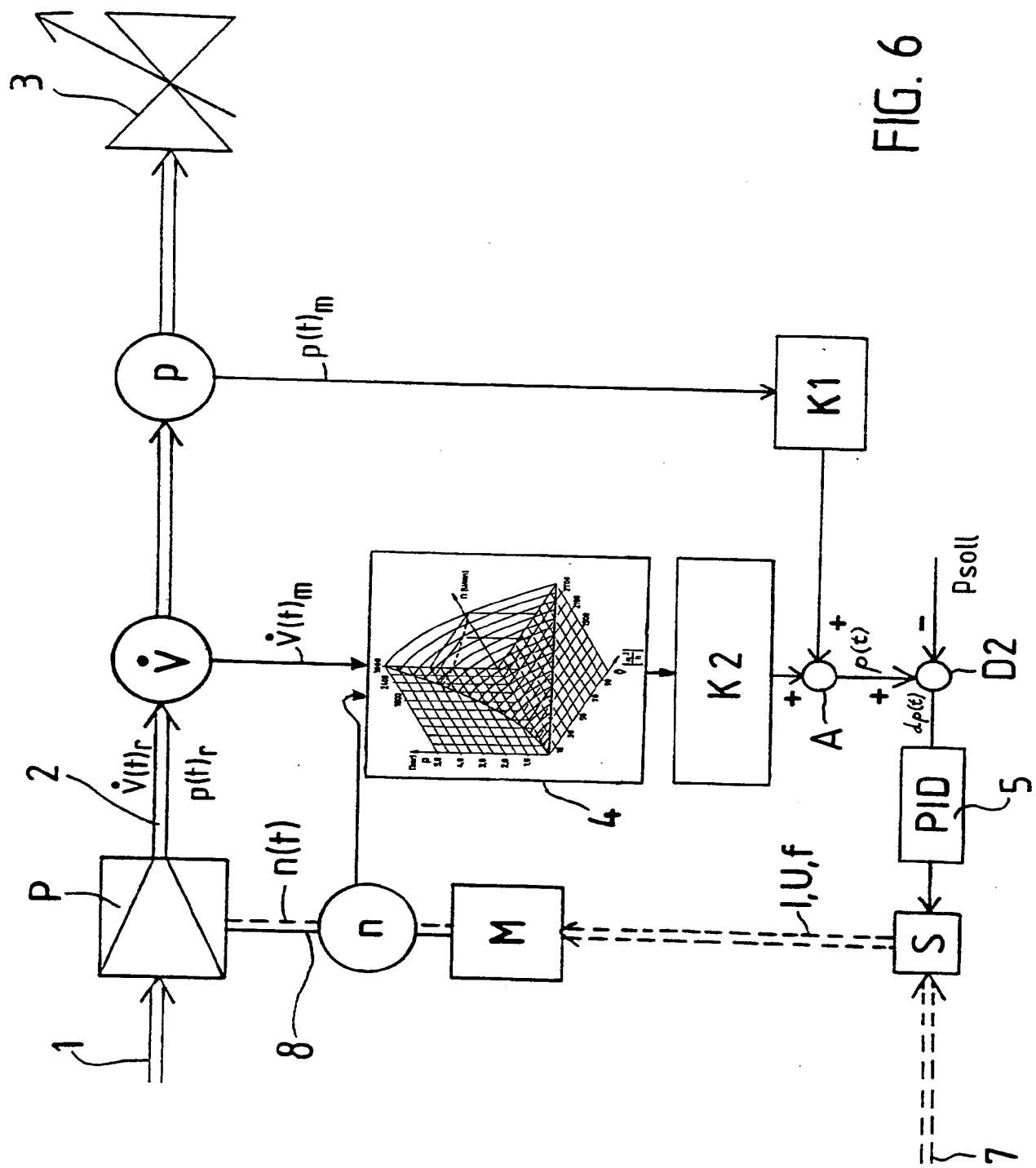
Int. Cl. 5-

#### **Offenlegungstag:**

DE 42 43 118 A1

G 05 D 16/16

23. Juni 1994



408 025/361